

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-157677

(43)Date of publication of application : 03.06.2004

(51)Int.Cl. G05B 13/02
G05D 3/12

(21)Application number : 2002-321558

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 05.11.2002

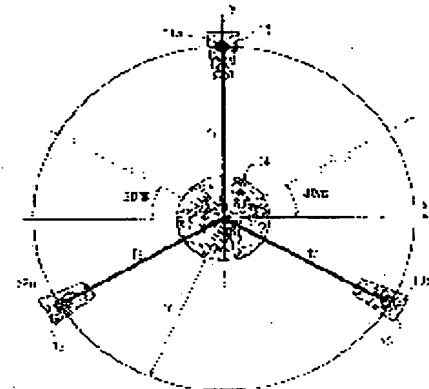
(72)Inventor : IWAKI SATOSHI
SUZUKI YURIKO
KOBAYASHI MINORU
ISHIBASHI SATOSHI

(54) MULTI-FLEXIBLE DRIVING MECHANISM AND VIRTUAL REALITY SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a multi-flexible driving mechanism which is improved in operation convenience as a force presenting device by stabilizing the position of a wind receptor and controlling the position and attitude of the wind receptor as intended even when a hand is put away.

SOLUTION: The driving mechanism has three air blowers 11, 12 and 13 whose air blow amounts and blowing directions can be operated, a cylindrical wind receptor 14 which receive the wind pressure of air blown out by the air blowers, and a means of measuring the position of the cylindrical wind receptor 14 in real time. Three air blowers are arranged at 120° intervals on a circumference in a plane and the blowing directions of the respective air blowers are always controlled to the center of the cylindrical wind receptor 14 to perform feedback control over the two-flexible position of the cylindrical wind receptor 14 on a two-dimensional plane.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 16.02.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-157677

(P2004-157677A)

(43) 公開日 平成16年6月3日 (2004.6.3)

(51) Int.Cl.⁷G05B 13/02
G05D 3/12

F I

G05B 13/02 B
G05D 3/12 305V

テーマコード (参考)

5H004
5H303

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2002-321558 (P2002-321558)
(22) 出願日 平成14年11月5日 (2002.11.5)(71) 出願人 000004226
日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(74) 代理人 100083194
弁理士 長尾 常明
(72) 発明者 岩城 敏
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内
(72) 発明者 鈴木 由里子
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内
(72) 発明者 小林 稔
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

最終頁に続く

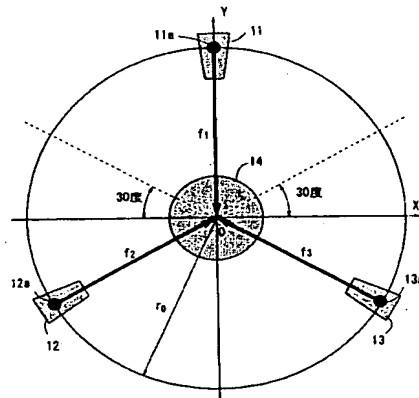
(54) 【発明の名称】 多自由度駆動機構およびバーチャルリアリティシステム

(57) 【要約】

【課題】 風受容器の位置を、風圧フィードバック制御により安定化し、手を離しても風受容器の位置と姿勢を思い通りに制御することにより、力提示装置としての使い勝手を向上させた多自由度駆動機構を提供する。

【解決手段】 空気噴出量と噴出方向が操作可能な3つの空気噴出器11、12、13と、該各空気噴出装置から噴出される空気による風圧を受ける円筒状風受容器14と、円筒状風受容器14の位置を実時間計測する手段を有する。3つの空気噴出器は平面内円周上に120度間隔で3つ配置され、各空気噴出器の噴出方向を常に円筒状風受容器14の中心に制御し、円筒状風受容器14の二次元平面上の2自由度の位置をフィードバック制御する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

気体又は液体の噴出量と噴出方向が操作可能な複数の噴出器と、該複数の噴出器から噴出される気体又は液体による圧力を受ける受容器と、該受容器の位置又は該位置と姿勢を計測する手段とを具備し、

目標値と計測された前記受容器の位置又は該位置と姿勢に応じて、前記噴出器の噴出量およびその方向を操作することにより、前記受容器の位置又は該位置と姿勢をフィードバック制御することを特徴とする多自由度駆動機構。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の多自由度駆動機構において、
前記フィードバック制御の系の制御ゲインを変化させることにより、前記受容器の力学的インピーダンスを調整することを特徴とする多自由度駆動機構。

10

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 のいずれかに記載の多自由度駆動機構において、
前記噴出器は空気噴出器であり、前記受容器は風受容器であり、
方向制御可能な該空気噴出器は平面内円周上に 120 度間隔で 3 つ配置され、前記風受容器は前記 3 つの空気噴出器で囲まれる内部に存在する円筒状物体であり、前記 3 つの空気噴出器の噴出方向を常に前記円筒状風受容器中心に制御し、前記風受容器の 2 次元平面内での 2 自由度の位置をフィードバック制御することを特徴とする多自由度駆動機構。

【請求項 4】

請求項 1、2 又は 3 のいずれかに記載の多自由度駆動機構を用いたバーチャルリアリティシステムにおいて、
計算機内部で人工的に表現される仮想環境を表示する仮想空間表示装置を備え、計測された前記受容器の位置又は該位置と姿勢に連動して前記受容器の仮想オブジェクトを該仮想環境の中で表示することを特徴とするバーチャルリアリティシステム。

20

【請求項 5】

請求項 4 に記載のバーチャルリアリティシステムにおいて、
前記仮想空間表示装置において人工的に表現される仮想物体と前記受容器の仮想オブジェクトが接触したとき、前記仮想物体の運動状態と力学的インピーダンスに応じて、前記受容器の仮想オブジェクトの力学インピーダンス又は位置又は該位置と姿勢の目標値を調節することを特徴とするバーチャルリアリティシステム。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は多自由度駆動機構およびそれを利用して力覚や触覚を伴いつつ仮想映像空間を提示するバーチャルリアリティシステムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、実世界の多自由度駆動機構と、それを仮想空間上で模擬表示した仮想画像とを連動させることにより、あたかもその仮想空間の中で実物に触れるような感覚や力感覚を提示するための力覚提示型バーチャルリアリティ（VR）システムが開発されている。例えば、PHANTOM (<http://www.nihonbinary.co.jp/Virtual/Phantom/>) と呼ばれる製品は、複数のシリアルリンク機構の先端に取り付けられたスタイラスに、計算された力をフィードバックすることで力感覚を提示する。ユーザは仮想画像を見ながらそのスタイラスに触れることにより、コンピュータの作り出した仮想世界にあるオブジェクトの形、堅さ、柔らかさ、素材感などが、あたかも本物であるかのように感じることができる。

40

【0003】

また SPIDAR (<http://skilab-www.pi.titech.ac.jp/detail/sdetail-j.html>) と呼ばれるシステムは上記 PHAN

50

TOMと同様な機能を、複数のケーブルを用いたテンドン機構を採用して実現するシステムである。

【0004】

これらはいずれも、被駆動体はメカニカルな接触を伴う伝達機構により駆動されるので、機構構成が複雑となりユーザの手の自由な操作の邪魔になるという欠点があった。

【0005】

このような問題点を鑑み、本発明者の一部はこれまでに、風圧を利用することにより、メカニカルな伝達機構を利用せずに力感覚を提示する装置を提案している（特許文献1）。

【0006】

【特許文献1】特開2001-22499。

10

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、この発明においては、風受容器を常に手で保持する利用形態を想定しているために、手を離れた場合、風受容器の位置が不安定あるいは不確定となる問題があった。従って、風受容器の仮想オブジェクトを仮想空間内で静止させておくような状態を実現することが不可能であった。

【0008】

本発明の目的は、手を離しても受容器の位置や姿勢を思い通りに制御できるようにし、力提示装置としての使い勝手を向上させた多自由度駆動機構を提供することである。

【0009】

20

別の目的は、受容器を、仮想空間内での対応するオブジェクトの動きに連動させて、静止させたり運動させたりという状態を実現することにより、表現力を向上させたバーチャルリアリティシステムを提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】

請求項1に係る発明は、気体又は液体の噴出量と噴出方向が操作可能な複数の噴出器と、該複数の噴出器から噴出される気体又は液体による圧力を受ける受容器と、該受容器の位置又は該位置と姿勢を計測する手段とを具備し、目標値と計測された前記受容器の位置又は該位置と姿勢に応じて、前記噴出器の前記噴出量およびその方向を操作することにより、前記受容器の位置又は該位置と姿勢をフィードバック制御することを特徴とする多自由度駆動機構とした。

30

【0011】

請求項2に係る発明は、請求項1に記載の多自由度駆動機構において、前記フィードバック制御の系の制御ゲインを変化させることにより、前記受容器の力学的インピーダンスを調整することを特徴とする多自由度駆動機構とした。

【0012】

請求項3に係る発明は、請求項1又は2のいずれかに記載の多自由度駆動機構において、前記噴出器は空気噴出器であり、前記受容器は風受容器であり、方向制御可能な該空気噴出器は平面内円周上に120度間隔で3つ配置され、前記風受容器は前記3つの空気噴出器で囲まれる内部に存在する円筒状物体であり、前記3つの空気噴出器の噴出方向を常に前記円筒状風受容器中心に制御し、前記風受容器の2次元平面内での2自由度の位置をフィードバック制御することを特徴とする多自由度駆動機構とした。

40

【0013】

請求項4に係る発明は、請求項1、2又は3のいずれかに記載の多自由度駆動機構を用いたバーチャルリアリティシステムにおいて、計算機内部で人工的に表現される仮想環境を表示する仮想空間表示装置を備え、計測された前記受容器の位置又は該位置と姿勢に連動して前記受容器の仮想オブジェクトを該仮想環境の中で表示することを特徴とするバーチャルリアリティシステムとした。

【0014】

請求項5に係る発明は、請求項4に記載のバーチャルリアリティシステムにおいて、前記

50

仮想空間表示装置において人工的に表現される仮想物体と前記受容器の仮想オブジェクトが接触したとき、前記仮想物体の運動状態と力学的インピーダンスに応じて、前記受容器の仮想オブジェクトの力学インピーダンス又は位置又は該位置と姿勢の目標値を調節することを特徴とするバーチャルリアリティシステムとした。

【0015】

【発明の実施の形態】

本発明は、空気やアルゴン等の気体を利用してあるいは水や油等の液体を利用して圧力を与えて、受容器の位置や姿勢を制御するが、以下の説明では空気圧（風圧）を利用した場合を例として説明する。この場合、受容器は風受容器、噴出器は風噴出器となる。

【0016】

風圧を利用した形態においては、風受容器の位置や姿勢を風圧フィードバック制御により安定化し、手を離しても風受容器の位置や姿勢を思い通りに制御する機能を加えることにより、力提示装置としての使い勝手を向上させる。

【0017】

また、風受容器を、操作者の手動操作によってではなく、空気アクチュエータによる自動制御によって、仮想空間内で静止させたり運動させたりという状態を実現することにより、仮想空間内におけるオブジェクトの動きに連動して風受容器の位置や姿勢を変化させ、表現力を向上させたバーチャルリアリティシステムを実現する。

【0018】

まず、本発明を実現する上での基礎技術である、1対の空気噴出器による1自由度風受容器の位置制御の原理について説明しておく。

【0019】

図1は、1直線上で動作可能な風受容器剛体3が、対抗する2つの空気噴出器1、2により位置制御される様子を模式的に示した図である。図1において、風受容器剛体3の位置 y は位置センサ4によりリアルタイムで測定可能であるとする。

【0020】

空気噴出器1、2が風受容器剛体3に与える力は一般に、圧搾空気圧、距離、ノズル形状などの非線形関数として表現されるが、以下では議論の単純化のため、上記非線形性は制御平衡点の近傍では無視可能、あるいは何らかの手段で線形化処理が行われており、空気噴出器1、2の操作量 u と発生する力 f との関係は、通常の伝達関数 $G_w(s)$ で記述可能であると仮定して議論を進める。そして無視した影響をフィードバック系設計の工夫で解決することとする。

【0021】

また空気噴出器1、2の場合、風受容器剛体3に与える力 f は風圧を押し与える方向のみである。このため、正負両方含めた1自由度を完全に制御するには、相対抗する位置に置かれた1対の空気噴出器1、2が必要となる。このように1方向の力しか出せないアクチュエータにより剛体の位置を制御する問題は、ユニラテラルアクチュエータ制御問題と呼ばれ、テンドン機構、磁気浮上機構、ロボットハンド等多くの多自由度駆動機構の位置制御の際に現れ、工学的な設計技法が既存である。一般に n 自由度の剛体を制御するには $n+1$ 個以上のアクチュエータが必要となり、その幾何学的な配置は、 $form\ Closure$ あるいは $force\ closure$ と呼ばれる条件を満たす必要があることが知られている（日本ロボット学会誌Vol. 13, No. 7, pp. 56-63 把持と操りの基礎理論）。

【0022】

図1において、簡単化のために $G_w(s) = 1$ と仮定し、右側の空気噴出器1が発生する力を $f_1 \geq 0$ 、左側の空気噴出器2が発生する力を $f_2 \geq 0$ とし、これらの差分として、 $f = f_1 - f_2$ なる新たな力 f を考えると、 $-f_1 \leq f \leq f_2$ の範囲で正負両方向の力が操作可能となる。そこで例えば制御器5として、「 $k_d s + k_p$ 」なるPD補償を利用して、図2に示すようなフィードバック制御系を施すと、位置目標値 r から風受容器剛体3の位置 y までの伝達関数 W_{ry} は、

10

20

30

40

50

$$W_y(s) = \frac{k_p}{ms^2 + k_d s + k_p}$$

となる。図2における6は演算部、7は風受容器ダイナミクスを表す。

【0023】

ただし、風受容器剛体3の質量を m とし、そのダイナミクスを $1/(m s^2)$ とした。これより、制御ゲインを適当な正数に設定することにより安定化が可能であり、かつ位置目標値 r に追従する位置制御系が実現されることがわかる。一般に制御ゲインを大きく取るほど追従性は高くなるが、空気噴出器に内在する非線形性によっては、全系の安定化の観点から必ずしも大きく取れないが、適当な安定余裕を与えることで対処可能である。

10

【0024】

一方、外力(外乱) q から位置 y までの伝達関数 W_w を計算すると、

$$W_w(s) = \frac{1}{ms^2 + k_d s + k_p}$$

となる。従って、 k_p はサーボ剛性でありこの値が大きいほど剛性が大きくなる。また同様に、 k_d は機械システムにおけるダンパの役割を果たし、 k_d が大きいほど粘性が高くなる。このように k_p と k_d を全系を安定化する範囲で適当に調整することで、外力に対する応答すなわち機械的インピーダンスを自由に設定できることが分かる。上記の原理により、相対抗する位置に置かれた一対の空気噴出器1, 2により、1自由度の風受容器剛体3の位置 y を平衡点の近傍で制御し、その機械的なインピーダンスを自由に設定することが可能である。

20

【0025】

なお、この例において、一つの空気噴出器の代わりに、例えば重力などの一定の力をバイアス力として印加しておくことにより、以下の如く同様に1自由度が制御可能となる。図1において、今、左側の空気噴出器2の代わりに一定バイアス力を $f_0 > 0$ として与えるとすると、 $-f_1 \leq f \leq f_0$ の範囲で f は正負両符号とも操作することが可能なので、この範囲内で先ほどと同様なPD制御則により位置制御が可能となる。

【0026】

以上説明した1自由度風受容器剛体の位置制御の原理を基本として、以下では多自由度の風受容器剛体の位置と姿勢を制御する実施例について説明する。

30

【0027】

本実施例は請求項3に係る発明の多自由度駆動機構を具現化するものである。図3は、3個の空気噴出器11, 12, 13によりXY平面上の2自由度を有する円筒状の風受容器剛体14を制御する機構の模式図である。3個の空気噴出器11, 12, 13はそれぞれ120度ずつ離れた半径 r_0 の円周上に配置され、それぞれ空気噴出器スラスト方向中心線と円周との交点周りに回転し、XY平面内で噴出方向を変えることが可能な角度制御機構(噴出ノズル方向制御装置:アクチュエータ)11a, 12a, 13aが備えられている。この3つの空気噴出器11, 12, 13の噴出量と噴出方向を操作することにより、上記円筒状風受容器剛体14への風圧と方向を変えて、空気噴出器11, 12, 13を結ぶ正三角形内で自由に、円筒状風受容器剛体14のXY平面上の位置を制御することが可能であることを、以下で具体的に説明する。なお、円筒状風受容器剛体14の中心位置座標(x, y)は、例えば、適当な画像計測手段又はパソコンのマウスで用いられている回転ボール状の2軸センサなどを利用すれば容易に実時間計測可能である。

40

【0028】

制御の基本的な考え方は、3つの噴出器11, 12, 13の噴出方向と噴出量という2つの操作量を独立に扱い、それぞれのフィードバック系を段階的に構成する点にある。すなわちまず、3つの空気噴出器11, 12, 13の噴出方向を風受容器剛体14の中心に常に向かうように実時間制御することが前提となる。

50

【0029】

図4は、風受容器剛体14の中心 O_w がXY座標上の点 (x, y) に位置する状態を模式的に示した図である。この時以下のような幾何学的な関係式が導出される。ただし、ノズル回転角 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ は時計方向を正方向と定める。

【0030】

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{x}{y - r_0} \right) \quad (1)$$

$$\theta_2 = \frac{\pi}{6} - \tan^{-1} \left(\frac{y + \frac{r_0}{2}}{x + \frac{\sqrt{3}}{2} r_0} \right) \quad (2)$$

$$\theta_3 = -\frac{\pi}{6} + \tan^{-1} \left(\frac{y + \frac{r_0}{2}}{-x + \frac{\sqrt{3}}{2} r_0} \right) \quad (3)$$

従って、円筒状風受容器剛体14の中心位置 x と y を測定すれば角度 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ が求まるので、次にこの角度 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ を目標値とする噴出方向制御を、図5のようなフィードバック制御系を構成することにより実現する。15は式(1)の演算部、16はPD制御器、17はノズル回転アクチュエータ（角度制御機構11a）、18はノズル回転運動ダイナミクスを表す。図5は角度 θ_1 についてであるが、角度 θ_2, θ_3 についても同様なフィードバック制御系となる。

【0031】

この噴出方向制御が実現されているという前提の下、図4より以下のような関係が得られる。

【0032】

$$\mathbf{f}_x = \mathbf{K}_w \mathbf{f}_w$$

ただし、

$\mathbf{f}_x = [f_x, f_y]^T$: 直交座標上での円筒状風受容器剛体14に加わる合力

$\mathbf{f}_w = [f_1, f_2, f_3]^T$: 各空気噴出器11、12、13が発生する力

$$\text{アクチュエータ配置行列: } \mathbf{K}_w(\theta) = \begin{bmatrix} -\sin \theta_1 & \cos \left(\frac{\pi}{6} - \theta_2 \right) & -\cos \left(\frac{\pi}{6} + \theta_3 \right) \\ -\cos \theta_1 & \sin \left(\frac{\pi}{6} - \theta_2 \right) & \sin \left(\frac{\pi}{6} + \theta_3 \right) \end{bmatrix}$$

$\mathbf{x} = [x, y]^T$: 円筒状風受容器剛体14の中心位置座標（制御量）

$\theta = [\theta_1, \theta_2, \theta_3]^T$: 円筒状風受容器剛体14の中心位置から計算される各ノズル回転角である。

【0033】

10

20

30

40

これらから、図6のようなフィードバック制御系を構成する。図6において、

$r_x = [r_x, r_y]^T$: x の目標値

$e_x = [e_x, e_y]^T$: x の目標値と現在地との差

$u_x = [u_x, u_y]^T$: 直交座標での操作量

$u_w = [u_1, u_2, u_3]^T$: 各空気噴出器の操作量

$K_w^+ = K_w^T (K_w K_w^T)^{-1}$: アクチュエータ配置行列 K_w の擬似逆行列

PD_x : X方向に関するPD補償器 (21)

PD_y : Y方向に関するPD補償器 (22)

である。また、23は演算部、25は風受受容器ダイナミクスを表す。 u_x から u_w への変換行列は無数に存在するが、疑似逆行列を設定することにより、トー

タルのエネルギーを最小化することが可能である。

【0034】

ここで PD_x と PD_y を、空気噴出器の非線形性や3つの風の干渉などを考慮して、全系が安定化される範囲で自由に設定することにより、X方向とY方向の運動制御特性を独立に設定することが可能である。たとえば、 PD_x の比例ゲインを大きく、 PD_y の比例ゲインを小さく設定すれば、X方向の剛性は高く、Y方向の剛性は低く設定することが可能である。

【0035】

以上のように本実施例においては、図3の角度制御機構11a、12a、13aを結ぶ正三角形内部の任意の点で位置制御と任意のインピーダンス設定が可能な、2自由度駆動機構が実現される。

【0036】

次に、請求項4に関して、この多自由度駆動機構を力覚提示用バーチャルリアリティシステムへ利用するための方法を、上記の実施例を用いて説明する。

【0037】

図7は、円筒状風受容器の基準点である中心の位置 (x 、 y) の測定値に基づき、仮想空間を表現する仮想空間表示装置の仮想画面内に、円筒状風受容器の仮想オブジェクト31をCG表示した例を示す。空間Aは自由空間、壁Bは剛性 k_b を有する拘束空間である。例えば、壁Bと接触せずに空間A内部に円筒状風受容器の仮想オブジェクト31が存在する場合には、仮想環境のどこからも力を受けないので、インピーダンスを0あるいは非常に小さく設定しておくことにより、自由空間内に漂う感覚が提示できる。

【0038】

また、壁Bに円筒状風受容器の仮想オブジェクト31が接触した場合には、X方向 (図7の横方向) のインピーダンスは正方向 (図7の右方向) に対して k_b と設定し、X方向の負方向及びY方向には0あるいは非常に小さく設定しておくことにより、円筒状風受容器の操作者はあたかも本物の剛性 k_b なる壁にぶつかったような感覚を手にも与えることが可能となる。

【0039】

すなわち、操作者がこの仮想画面のオブジェクト21を目で見ながら円筒状風受容器を手で動かすことにより、あたかもそこに実際にオブジェクトが存在するような感覚を与えることができる。また操作者は操作途中に手を離しても、風受容器は初期姿勢が自動的に維持可能である。このような機能を利用することにより、仮想空間内において動きまわる動物が、操作者が乗っている乗り物に衝突したときの衝撃力などを表現することが可能となる。

10

20

30

40

50

【0040】

なお以上の説明においては、二次元平面内で風受容器剛体の位置を制御する場合について説明したが、三次元空間内で風受容器剛体の位置又は位置と姿勢を制御することもできる。この場合は、例えば風受容器剛体を正6面体とすると共に、空気噴出器を多数使用して該6面体の風受容器剛体に集中して吹き付けることにより、その風受容器剛体を空間に浮かせた状態で、バーチャルリアリティ内の対応するオブジェクトの動きに応じてその風受容器剛体の位置や姿勢を制御すればよい。この場合の風受容器剛体の位置や姿勢の検出は、例えば画像計測手段により行うことができる。

【0041】

【発明の効果】

本発明では、気体や液体を原動力とするという特徴により、多自由度駆動機構として以下の利点を有するので、コンパクトで使い易いバーチャルリアリティ表示装置を作ることができる。▲1▼人間の手による操作上邪魔になるリンクやワイヤ等の伝達機構が不要、▲2▼風を使用するときは目に見えず透き通るので背景画像表示の邪魔をしない、▲3▼可動範囲が広い、▲4▼安全、▲5▼ハードウェアの寸法変更、自由度の増減など装置の設計変更柔軟に対応可能、▲6▼機械的摩擦が無いのでメンテナンスフリーかつ高精度。

【0042】

これらの特長により、シンプルでコンパクトなハードウェア構成で、表現力の高い力感覚を伴うテレビゲーム等のバーチャルリアリティコンテンツを実現することができる。

【0043】

また、特に請求項3に係る発明のメリットとしては、3つの空気噴出器の方向を常に風受容器中心に向かうように実時間制御することで、以下の効果が生まれる。▲1▼アクチュエータ配置行列： $K_w(\theta)$ が θ のみの関数となるため、その疑似逆行列の計算が単純化されるため制御則もシンプルになる。▲2▼各空気噴出器からの風は円筒状風受容器の円筒面に垂直に当たるので、その接線方向の力の影響は最小となり、各空気噴出器からの風のお互いの干渉の影響も最小化されるため、制御対象のモデル化誤差も小さくなり、制御系設計がシンプルになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】直線上1自由度の制御モデルの説明図である。

【図2】1自由度の空気噴出制御系のブロック図である。

【図3】平面2自由度制御モデルの模式図である。

【図4】平面2自由度制御モデルの座標系の説明図である。

【図5】図4の空気噴出器11の噴出方向制御系のブロック図である。

【図6】平面2自由度制御モデルの空気噴出量制御系のブロック図である。

【図7】仮想空間表示画面の説明図である。

【符号の説明】

1, 2 : 空気噴出器

3 : 風受容器

11, 12, 13 : 空気噴出器、

11a, 12a, 13a : 角度制御機構（噴出ノズル方向制御装置）

14 : 円筒状風受容器

31 : 円筒状風受容器の仮想オブジェクト

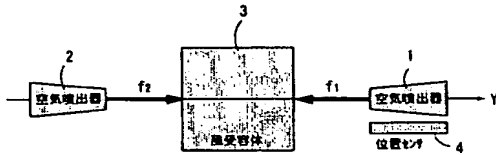
10

20

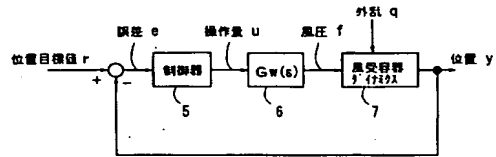
30

40

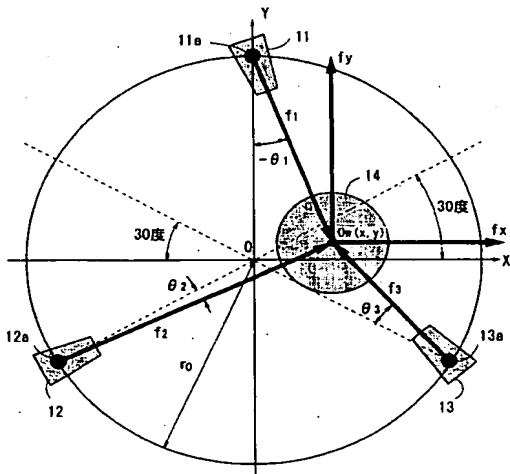
【図 1】



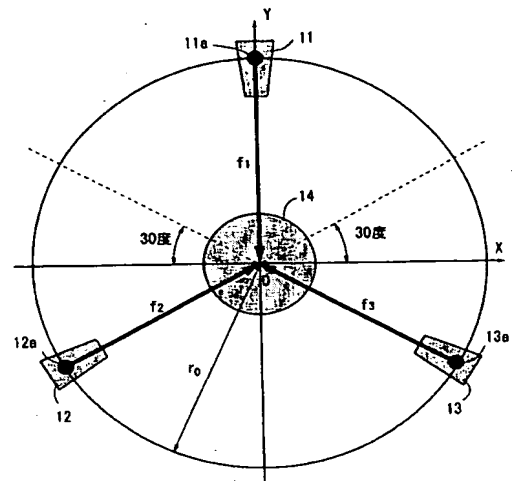
【図 2】



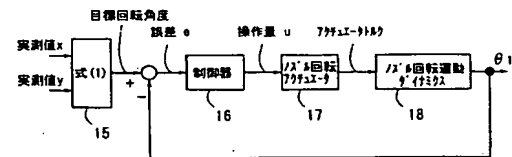
【図 4】



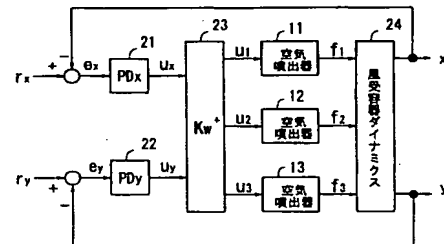
【図 3】



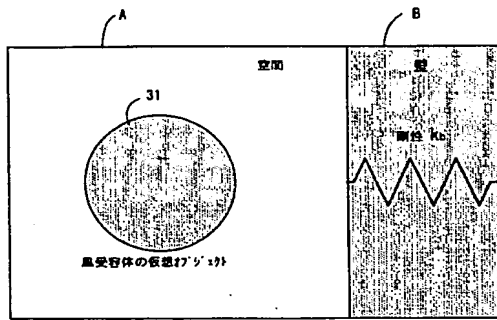
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 石橋 聡

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 5H004 KB02 KB06 KC03 LA17 LA18

5H303 AA10 BB02 BB14 CC06 DD08 KK02 KK04 KK22 KK24